

PENGERTIAN RELATIF DALAM MEMBAHAS GEJALA ALAM

Benny S. Brotoiswojo | Parahyangan Catholic University,
Bandung, Indonesia

Ketika memberi kuliah kosmologi pada Fakultas Filsafat, saya harus menjelaskan konsep relativitasnya Galileo, relativitasnya Newton, relativitasnya Einstein. Tidak mudah, karena harus diupayakan agar sejauh mungkin tidak menggunakan lambang-lambang matematika.

Konon kabarnya, di jaman hidupnya Galileo ada polemik untuk mencari jawaban atas dua buah pertanyaan, :

- (1) Apakah matahari yang mengelilingi bumi, ataukah bumi yang berputar sehingga yang tampak dari bumi adalah matahari yang mengitari bumi.
- (2) Apakah bumi ini pusat jagad raya, sehingga semua benda langit mengitari bumi ini, termasuk matahari. Ataukah pandangan lain bahwa bumi ini bukan pusat segalanya, seperti misalnya pandangan Copernicus bahwa bumi ini bergerak mengelilingi matahari.

Contoh Sederhana

Ada baiknya kalau kita mulai dengan *contoh dalam kehidupan sehari-hari*. Saya naik kereta api dalam perjalanan yang panjang, sebut saja dari Bandung ke Surabaya. Karena waktunya cukup lama saya tertidur, tetapi terbangun ketika kereta api berhenti di stasiun Yogyakarta untuk menurunkan penumpang dan menambah penumpang. Di stasiun tersebut ada beberapa kereta api yang juga berhenti untuk maksud yang sama, di antaranya ada yang arahnya dari Surabaya ke Jakarta, jadi arah yang berlawanan dengan kereta yang saya tumpangi. Kereta tersebut berada di jalur bersebelahan tepat di samping jendela tempat duduk saya. Karena masih sayup-sayup antara tidur dan bangun, saya melihat dari jendela saya kereta di jalur sebelah saya itu bergerak maju. Kesimpulan saya kereta api menuju Jakarta itu berangkat lebih dahulu. Tetapi beberapa saat kemudian dari jendela saya tampak pohon-pohon yang bergerak dalam arah sama dengan kereta api menuju Jakarta itu. Bahkan gerbong saya juga menyuarakan bunyi benturan dengan sambungan rel yang dilewatinya. Saya sadar bahwa yang berangkat lebih dahulu itu adalah kereta saya yang menuju Surabaya, bukan kereta yang menuju Jakarta seperti perkiraan saya semula.

Apa maknanya ? Kesimpulan saya terakhir yang “benar” itu terjadi setelah saya melihat pohon-pohon yang bergerak berlawanan dengan arah kereta api saya. Ditambah lagi dengan suara yang timbul ketika gerbong saya melintasi sambungan-sambungan rel kereta api. Saya yakin karena tidak mungkin pohon-pohon itu bergerak; kalau saya melihat pohon-pohon itu bersama-sama bergerak maka yang sesungguhnya terjadi adalah kereta api saya yang bergerak dalam arah berlawanan dengan arah gerak pohon-pohon tersebut. Jadi seandainya saya ada dalam pesawat angkasa (tidak ada sambungan rel KA), dan tidak ada pemandangan seperti pohon-pohon yang saya yakin tidak bergerak, maka mungkin saya tetap yakin bahwa kereta yang menuju Jakarta itu “betul-betul” berangkat lebih dahulu daripada kereta api saya yang menuju ke Surabaya.

Itulah inti dari Relativitasnya Galileo; yang namanya “gerak” itu tidak lengkap maknanya jika tidak disertai dengan “acuan” terhadap obyek lain yang “diasumsikan” sebagai tidak bergerak. Jika di ruang angkasa ada dua orang, sebut saja si A dan si B masing-masing ada dalam kendaraan angkasa yang bergerak dalam arah berlawanan, bisa terjadi ada tiga macam pendapat. Si A mengatakan bahwa si B lah yang bergerak mendekatinya. Pendapat kedua si B mengatakan bahwa si A lah yang bergerak mendekatinya.

Pendapat ketiga, kalau kita yang mengamatinya, akan kita katakan baik si A maupun si B bergerak saling mendekati. Lalu ...mana di antara tiga pendapat tadi yang akan kita sebut “benar”? Menurut Galileo ketiga pernyataan itu “benar” semua. Lho... kok ada lebih dari satu “kebenaran”... Ya, untuk mudahnya sebut saja itu “kebenaran relatif”.

Gerak Melingkar

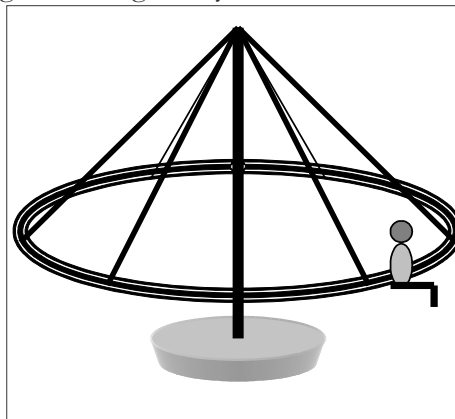
Memang, jika kita bertolak pada “assumsi” bahwa mataharilah yang bergerak mengitari bumi, dan sekaligus juga semua benda langit itu bergerak mengitari bumi, itu adalah “kesan” hasil pengamatan yang dapat disimak dari gejala yang kita amati sehari-hari; khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia ini, yang tidak jauh dari ekuator. Yang kita lihat sehari-hari, matahari terbit dari timur pada waktu yang (kira-kira) sama, dan tenggelam di barat, sekitar 12 jam kemudian. Dalam kurun waktu satu tahun pun kita hanya mengenal musim kering dan musim penghujan, tetapi suhunya sehari-hari hanya berbeda antara siang dan malam, dan hampir sama sepanjang tahun.

Tetapi situasi semacam itu tidak dialami oleh mereka yang tinggal di wilayah subtropis seperti Eropa atau Australia. Mereka mengalami empat musim berkaitan dengan suhu udara dan tampaknya ada hubungannya dengan lintasan matahari. Ada musim panas, musim gugur, musim dingin, dan musim semi. Pada musim panas, waktu siang jauh lebih panjang daripada waktu malam, jadi suhu cuaca musim panas itu terkait dengan lamanya matahari menyinari bumi. Begitu pula dengan musim dingin, yang selalu terjadi bersamaan dengan lamanya malam hari yang jauh lebih panjang daripada lamanya siang hari. Tetapi juga ada yang “aneh”, yaitu jumlah waktu (siang + malam) praktis sama sepanjang tahun. Artinya setelah satu tahun (kira-kira 365 hari) proses musim itu berulang lagi. Yang lebih mengherankan adalah perbedaan musim antara Eropa dan Australia. Ketika Eropa mengalami musim dingin, Australia justru mengalami musim panas. Kenyataan semacam itu mengusik pikiran kita tentang bagaimana caranya matahari mengitari bumi. Silahkan melukis bentuk lintasan matahari mengelilingi bumi yang dapat menjelaskan kenyataan tersebut di atas.

Memang tidak terlalu mudah untuk mencari jawaban atas pertanyaan (1). Jika saya naik komedi putar, saya duduk dikursi yang disediakan. Ketika mesin itu berputar, pandangan saya lebih memberi kesan bahwa obyek-

obyek di sekitar saya seolah-olah berputar mengelilingi saya, padahal saya sadar bahwa tempat duduk saya itulah yang diputar oleh mesin penggeraknya, seperti terdengar dari suara mesinnya. Jadi, memang ada perbedaan (mungkin juga kesimpulan yang bertentangan) antara “kesan” dengan “kenyataan”. Kalau saya bertolak pada “asumsi” bahwa saya ini pusat segalanya, maka kesimpulan saya adalah benda-benda di sekitar saya ini berputar mengelilingi saya. Tetapi bagi orang yang mengoperasikan komedi putar itu sayalah yang berputar mengelilingi tiang utama mesin komedi putar tersebut. Konsep “relatif” juga terdapat di sini, mirip dengan apa yang kita persoalkan pada pertanyaan (1). Pernyataan “gerak” selalu terkait dengan “acuan” terhadap apa gerak itu ingin dinyatakan.

Kalau pengamatan kita lebih cermat, contoh terakhir ini tentu berbeda dengan contoh sebelumnya tentang gerak dalam pesawat angkasa dalam ruang tanpa obyek lain. Pada contoh terakhir ini, ketika mesin komedi putar itu berjalan, saya juga harus memegang erat-erat tempat duduk saya,.. kalau tidak saya akan terlempar dari tempat duduk saya. Tidak begitu halnya ketika saya



setengah terlelap di kereta api, tidak sadar apakah kereta api saya yang mulai berjalan ataukah kereta yang menuju jakarta itu yang bergerak. Artinya sifat relatif gerak melingkar tidak sama dengan sifat relatif gerak lurus.

Perbedaan itu juga dapat digunakan oleh mereka yang berkeyakinan bahwa benar-benar mataharilah yang mengitari kita di bumi ini. Menggunakan kenyataan di atas tadi, seandainya kita yang ada di bumi ini yang berputar, pasti kita harus memegang erat-erat tempat kita di bumi ini agar tidak terlempar keluar. Padahal kita tahu di bumi ini kita bisa berjalan sekehendak kita....

Interaksi Jarak Jauh

Argumen semacam itu ditentang oleh Newton. Kita tidak perlu memegang erat-erat tempat kita di bumi ini, sebab bumi ini selalu menarik benda-benda

lain yang ada di permukaannya. Lihat saja air terjun, atau (yang sering dibuat ceritera populer) buah apel yang jatuh dari pohon dan menimpa kepala Newton yang sedang duduk termenung berfilsafat di bawah pohon tersebut. Jadi, tanpa harus berpegang erat-erat pada bumi ini kitapun selalu jatuh kembali kalau meloncat berusaha melepaskan diri dari bumi.

Ada lagi argumen lain yang bisa membuat orang lebih percaya bahwa bumi ini tidak berputar. Ada seorang siswa SMA (ini fiktif) yang tinggal di Pontianak (daerah yang terletak di ekuator bumi). Dia sudah belajar ilmu alam bahwa bumi ini bentuknya bulat seperti bola, jari-jarinya sekitar 6000 kilometer. Bumi juga berputar mengelilingi sumbu putarnya yaitu garis dari kutub utara ke kutub selatan. Jadi garis melingkar equator bumi panjangnya sama dengan keliling terbesar bumi, yaitu sekitar 40 000 kilometer. Matahari terbit di timur dan tenggelam di barat. Jadi kalau buminya yang berputar, arah putarannya tentu menuju ke timur. Satu hari lamanya 24 jam, artinya kita melihat kembali matahari pada tempat yang sama dilangit itu setelah 24 jam.

Seandainya dia punya cukup banyak uang, ia ingin menyewa sebuah helikopter berhenti di angkasa lepas dari permukaan bumi. Ketika buminya berputar dengan poros putarnya, maka dia akan dapat menyaksikan apa yang ada di permukaan bumi yang terletak di bawahnya. Hasil pandangannya tentu berubah-ubah mengikuti apa yang ada di bumi dalam garis ekuator. Dia akan melihat laut Jawa, lalu sebagian dari Sumatera, lalu Samudera Hindia, lalu benua Afrika, lalu samudera Atlantik, benua Amerika tengah, samudera Pasifik,dan seterusnya,....dan setelah 24 jam kembali di Pontianak.

Wah, betapa asyiknya melihat keliling dunia ini dengan menyewa helikopter selama 24 jam. Sayang, ia tidak punya uang yang cukup untuk menyewa helikopter. Jadi impiannya tidak pernah akan terwujud. Tetapi anak SMA yang cerdas ini tidak ingin mundur dari cita-citanya. Bagaimana kalau untuk melepaskan diri dari permukaan bumi ini, ia tidak menyewa helikopter tetapi meloncat-loncat keatas, ketika dia lepas dari permukaan bumi, buminya berputar dia akan tiba sedikit di sebelah barat tempat dia meloncat, proses itu berlanjut hingga tiba di pantai barat kota Pontianak, tetapi dia tidak bisa melompat lagi karena permukaan air laut tidak bisa digunakan sebagai pijakan loncatannya. Walaupun demikian.. tidak ada salahnya untuk mencobanya. Tetapi ketika dia melompat-lompat ke atas ternyata dia selalu jatuh di tempat yang sama. Akhirnya dia lapor kepada gurunya tentang pengalamannya itu, dan dengan ragu-ragu (takut dapat nilai

jelek) ia menanyakan apa boleh dia punya pandangan yang berbeda dengan pelajaran sekolah...kesimpulan dia adalah bumi ini tidak berputar.

Apa yang dilakukan Newton

Pertama, dia harus menjelaskan mengapa bumi ini “memegang erat-erat” benda-benda yang ada di sekitar permukaan bumi. “Dongengnya”, buah apel yang jatuh di kepalanya itu...Berarti bumi ini punya gaya-tarik ke “bawah” (pusat bumi).

Tetapi itu tidak sama dengan apa yang terjadi pada sebuah pedati, yang hanya bergerak maju kalau ditarik oleh kuda atau sapi. Gerak maju itu juga terjadi jika kita mendorongnya dari arah belakang. Hanya saja...harus ada obyek lain seperti tali yang mengikat pedati dengan sapi atau kudanya. Juga kalau kita mendorong pedati dari belakang, tangan atau bagian tubuh kita harus menempel pada pedati itu.

Ketika buah apel jatuh ke bumi tidak terlihat adanya benda yang menghubungkan buah apel itu dengan bumi ini...Jadi pasti ada “kekuatan” sebut saja itu “gaya” yang benar-benar dapat mendorong buah apel itu menuju pusat bumi ini. Gaya itu tetap berfungsi meskipun pohon apelnya cukup tinggi, bahkan makin tinggi pohon apelnya makin “keras” pukulannya ketika buah apel itu jatuh mengenai kepalanya Newton.

Adanya gaya tarik yang bekerja antara benda-benda dengan bumi ini, memunculkan pengertian baru yaitu adanya “*interaksi jarak jauh*”, artinya dua benda tidak harus menempel satu sama lain untuk saling berinteraksi. Selain itu, perlu dipikirkan juga **sifat kuantitatifnya**. Pedati ditarik dua ekor kuda mestinya bisa berjalan lebih cepat dibanding dengan pedati yang hanya ditarik oleh seekor kuda. Masih ada satu lagi konsep yang harus kita tumbuhkan dalam pola berpikir kita, yaitu bahwa ***gaya tarik itu punya arah***. Buah apel itu hanya akan jatuh ke bawah, untuk itu kita tidak harus berbuat apa-apa, prosesnya spontan. Itu berbeda dengan cara menggerakkan pedati dalam arah datar yang gayanya harus dibuat dengan bantuan kuda atau sapi. Maksudnya wujud gaya interaksi jarak jauh oleh bumi terhadap apel hanya terjadi dalam arah ke bawah.

Dalil-dalil Newton memang melibatkan konsep-konsep baru, sayangnya tidak pada tempatnya kalau disajikan di forum ini, sebab memerlukan ungkapan dalam bentuk “bahasa” dengan lambang-lambang matematika.

Salah satu dalilnya Newton terkait dengan apa yang diceriterakan tadi, yaitu bahwa konsep Galileo itu “benar” (berlaku) dalam arti boleh ada lebih dari satu pendapat, tentang siapa yang “sebenarnya” bergerak, tetapi pernyataan Galileo itu terbatas pada gerak yang kecepatannya teratur (tidak berubah) dan arahnya lurus. Untuk gerak yang lintasannya melingkar azas semacam itu tidak dapat diterapkan. Ketika saya naik komedi putar, saya akan merasakan dorongan untuk terlempar keluar. Saya tidak terlempar hanya kalau saya mengikatkan diri dengan tempat duduk saya.

Jadi, kalau bumi ini **berputar, tetapi sekaligus juga mengikat kita** dengan “interaksi jarak jauh”nya (istilah ilmu alamnya : gaya gravitasi bumi), maka kita tidak akan terlempar ke luar dari bumi ini. Artinya, dengan kompensasi adanya gaya gravitasi bumi, sifat relatif gerak melingkar yang sebenarnya berbeda dengan asas relatif gerak lurus tidak kita sadari. Jangan lupa, sudah sejak lahir kita selalu ada di bumi ini, kenyataan itu (bahwa kita selalu ditarik gaya gravitasi bumi) biasanya tidak menarik perhatian kita. Bahkan sebenarnya organ-organ badan kita pun sudah menyesuaikan diri dengan kondisi semacam itu. Para astronaut yang ada di pesawat antariksa yang karena gerak lintasannya tidak lagi merasakan adanya gaya gravitasi bumi, harus disiapkan dahulu melalui latihan bagaimana rasanya menjalani hidup biologi tanpa gravitasi bumi.

Pada kuliah tersebut juga saya putarkan film dokumentasi hasil rekaman potret (konkret) dari satelit NASA. Yang tampak adalah bumi yang bentuknya bulat dan dari waktu ke waktu permukaan yang tampil berbeda-benda katakanlah antara benua Amerika dan benua Asia. Maknanya buminya memang benar-benar berputar dengan poros putarnya antara kutub utara dan kutub selatan.

Sekarang kita kembali pada pertanyaan (1), mana yang “benar” matahari itu berputar mengitari bumi, atau “sebenarnya” bumi ini yang berputar dan itulah yang membuat terjadinya siang dan malam ?

Informasi yang kita peroleh : kalau yang mengamati adalah satelit NASA yang sedang ada di ruang angkasa, maka bumi ini benar-benar berputar. Tetapi kalau yang mengamati adalah kita yang sejak lahir hidup di bumi ini dan dipengaruhi oleh gaya gravitasinya, maka yang tampak adalah matahari yang mengitari bumi. Lalu, apa salahnya kalau kedua pandangan itu kita nyatakan “benar”, tentu saja dalam pengertian “kebenaran relatif”.

Masih ada yang protes, bagaimana dengan pengalaman dari siswa SMA di Pontianak itu? Bukankah kesimpulan pengalaman nyata itu menunjukkan

bahwa tidak mungkin bumi ini berputar?

Memang masih harus dipelajari lebih lanjut makna ungkapan teori Newton yang lebih lengkap. Sayangnya forum ini bukan tempat yang cocok untuk itu, tetapi marilah kita mengamati beberapa hal yang dapat kita saksikan sehari-hari.

Mari kita bertanya mengapa penumpang yang naik mobil sebaiknya memakai sabuk pengaman yang mengikat badannya pada kursi tempat duduknya.....Kalau secara mendadak mobil itu direm, atau menabrak sesuatu, mobilnya akan berhenti,tetapi penumpangnya tetap terlempar maju kalau badannya tidak diikat dengan kursi tempat duduknya. Ada besaran yang istilah teknisnya “momentum” yang terikat pada benda-benda yang bergerak. Ketika mobil dengan penumpangnya itu melaju, momentum dari mobil dan momentum penumpangnya berfungsi bersama-sama. Ketika mobilnya mendadak berhenti, kalau penumpangnya tidak diikat dengan mobilnya, maka momentum penumpang tetap terbawa sehingga ia terlempar ke depan.

Hal yang sama terjadi pada siswa SMA yang merancang untuk menyewa helikopter berkeliling seluruh dunia dalam waktu 24 jam saja. Melestarikan momentum juga terjadi ketika dia melompat ke atas dari permukaan bumi. Saat itu permukaan buminya sedang bergerak dengan kecepatan $40\,000\text{ km}/(24\text{jam})$, lebih cepat dari pesawat terbang penumpang yang kecepatan jelajah umumnya di bawah $1000\text{ km}/\text{jam}$. Kalau permukaan buminya maju ke arah timur, maka siswa itupun tetap membawa momentum arah ke timur. Jadi ketika dia tiba lagi di tanah, permukaan buminya juga sudah pindah ke arah yang sama, sehingga dia jatuh di tempat yang sama dengan tempat meloncatnya.

Lalubagaimana dengan pertanyaan : (2) Apakah bumi ini pusat jagad raya, sehingga semua benda langit mengitari bumi ini, termasuk matahari. Ataupun pandangan lain bahwa bumi ini bukan pusat segalanya, seperti misalnya pandangan Copernicus bahwa bumi ini bergerak mengelilingi matahari?

Tentang “interaksi jarak jauh” itu Newton juga memperlakukan sifatnya sama dengan interaksi yang terjadi antara dua benda yang saling menempel. Misalnya, ketika kita mendorong pedati (atau jaman sekarang mobil) yang sedang berhenti. Kekuatan (gaya) yang kita gunakan agar pedati tersebut mulai bergerak juga akan terasa di badan atau tangan kita dalam arah yang sebaliknya dari arah majunya pedati itu. Artinya, ketika kita mengerahkan tenaga untuk membuat pedati itu maju, pedati yang tadinya

berhenti itupun memberikan gaya reaksi terhadap badan kita. Lebih tepatnya lagi, kalau dua benda A dan B bersentuhan, jika benda A menekan benda B maka benda B juga akan berreaksi balik menekan benda A dengan gaya yang sama. Asas semacam ini juga berlaku untuk “interaksi jarak jauh” antara dua benda, meskipun keduanya tidak saling bersinggungan.

Sebelum meneruskan ceriteranya, mungkin ada yang bertanya, “dalam dongengnya Newton itu, mengapa buah apelnya yang jatuh ke bumi, bukan buminya yang jatuh ke buah apel”....?

Itu ada kaitannya dengan perbedaan massa (berat) dari kedua benda yang saling berinteraksi tadi. Pada kasus dongengnya Newton itu, juga tidak salah kalau kita menyatakan bahwa buminya yang jatuh pada apel. Tetapi karena yang mengamati adalah kita yang “menempel” di bumi, kita sendiri sebagai pengamat ikut jatuh ke apel. Maka kesimpulan (relatif terhadap pengamat) adalah apelnya yang jatuh ke bumi.

Ada baiknya kita juga mengamati (dengan rasa sedih tentunya) ketika sebuah kendaraan yang lebih berat (misalnya truk pengangkut barang berat) dalam arah berlawanan menabrak sebuah mobil ukuran kecil. Yang tampak adalah mobil kecil itu terlempar pada jarak yang lebih jauh di dibandingkan dengan jarak terlemparnya truk yang berat itu. Nah begitu pula situasinya buah apel dan bumi. keduanya saling tarik menarik dan berakhir dengan tabrakan antara keduanya. Tetapi bumi yang jauh lebih berat membuat lokasi tabrakan lebih mendekati bumi dari pada apelnya.

Jika dijabarkan secara kuantitatif, aturan Newton itu kira-kira dapat diungkapkan sbb. Ada bumi, ada matahari yang beratnya jauh lebih besar dari berat bumi. Kalau pada awalnya keduanya tidak bergerak maka yang terjadi adalah keduanya akan bergerak saling mendekati dan akhirnya bertumbukan. Tetapi, kalau salah satu misalnya bumi pada awalnya sudah bergerak dalam arah yang berlainan dengan arah garis hubung bumi dan matahari, maka bisa terjadi buminya tidak “jatuh” ke matahari melainkan berputar mengelilinginya. Bentuk lintasannya, jika dilihat dari matahari, bisa berupa lingkaran, elips, parabola, atau hiperbola. Bentuk tersebut bergantung pada kondisi awalnya, yaitu lokasi bumi terhadap matahari, dan laju cepatnya serta arah geraknya bumi.

Kalau asasnya Newton berlaku, maka kita boleh bertanya.... apa bedanya bumi dengan matahari? Bukankah kalau matahari membuat gaya tarik terhadap bumi, maka bumipun membuat gaya tarik kepada matahari? Lalu, mengapa yang ditanya lokasi dan awal geraknya bumi, bukan lokasi dan gerak awalnya matahari?

Ya, benar... mataharipun tentunya bisa punya laju dan arah gerak awalnya. Jadi kitapun tidak salah kalau mengatakan “terhadap bumi” matahari itu mengitari bumi dalam lintasan yang bentuknya bisa lingkaran, elips, parabola, atau hiperbola.

Dalam teorinya Newton yang lebih lengkap ada besaran yang disebut **titik-pusat-massa**, antara dua benda yang saling berinteraksi jarak jauh. Kalau dua benda itu “berat”nya sama, maka letak titik-pusat-massa itu ada di tengah-tengah garis hubung antara kedua benda tersebut. Jika kita berada di titik-pusat-massa itu maka yang terlihat adalah masing-masing benda bergerak mengelilingi kita. Untuk kasus pasangan bumi dan matahari, karena “berat” matahari jauh lebih besar daripada “berat” bumi, letak titik-pusat-massa itu lebih dekat ke lokasi matahari. Titik-pusat-massa itu berada tepat di pusat matahari hanya apabila matahari tak berhingga beratnya.

Pandangan Copernicus bahwa bumi bergerak mengelilingi matahari tidak salah, kalau kita pandang dari pengamat yang ada di matahari. Pandangan kebanyakan orang bahwa matahari bergerak mengitari bumi juga tidak salah, selama pengamatnya ada di bumi. Bahkan pandangan bahwa baik bumi maupun matahari berputar mengelilingi titik-pusat-massa pasangan bumi-matahari juga tidak salah.

Mungkin pandangan Copernicus banyak dianut karena yang berputar mengelilingi matahari bukan hanya bumi saja, tetapi juga sejumlah planet-planet lainnya. Sepanjang pengetahuan kita saat ini bumi juga punya pasangan yang “berat”nya lebih kecil, yaitu bulan. Astronaut yang mendarat di bulan beberapa tahun yang lalu mestinya juga boleh menyatakan bahwa bumi bergerak mengitari bulan; sama dengan pandangan kita di bumi bahwa bulan bergerak mengelilingi bumi. Ada juga planet yang punya “pasangan” / ”bulan” yang jumlahnya lebih dari satu. Dalam konteks aliran Copernicus planet tersebut adalah “pusat” dari kumpulan “bulan-bulan”nya.

Hasil pengamatan astronomi menunjukkan bahwa, selain bumi tempat hidup kita ini ada planet-planet, ada matahari (sumber pendukung kehidupan biologis manusia), ada bintang-bintang yang memancarkan sinar seperti halnya dengan matahari. Pengamatan lebih jauh menunjukkan bahwa matahari hanya salah satu saja dari bintang-bintang yang terkumpul dalam gugus bimasakti. Bahkan hasil penalaran dari gugus bintang tersebut menunjukkan bahwa matahari kita tidak terletak pada pusat gugus itu. Matahari kita hanya salah satu bintang yang letaknya agak ke pinggir. Dengan bantuan teropong bintang yang lebih canggih juga ditemukan

bahwa masih ada gugus-bintang lainnya di luar bimasakti. Artinya, jagad raya ini terdiri atas obyek alam semacam matahari dalam jumlah yang tak terhitung banyaknya.

Nah, sekarang kita kembali ke pertanyaan, “apakah bumi kita ini pusat dari seluruh jagad raya ini” ?. Tentunya kita perlu menanyakan apa yang dimaksud dengan istilah “pusat” dalam ungkapan tersebut. Pada teorinya Newton bila ada dua obyek A dan B maka juga dikenal istilah “titik-pusat-massa”, dan dari lokasi titik tersebut kedua obyek A maupun B bergerak mengelilinginya. Tentunya untuk kumpulan obyek alam yang sangat banyak seperti jagad raya ini juga dapat “dihitung” di mana “titik-pusat-massa”nya. Dari titik tersebut bintang-bintang itu tampak mengelilinginya. Tetapi kalau jumlah bintangnya serta lokasi tepatnya tidak kita ketahui, kitapun tidak dapat melakukan “hitungan”nya. Artinya, kalau yang dimaksud dengan istilah “pusat” jagad raya adalah titik-pusat-massa dari seluruh obyek alam yang ada, sudah pasti bukan bumi ini, meskipun kita belum tahu dimana tepatnya lokasi “pusat” itu.

Konsep **relativitas** mengubah titik tolak berpikir kita tentang makna istilah “kebenaran” dalam memahami alam ini. Polemik seperti diungkap pada awal tulisan ini tidak perlu terjadi. Sudut pandang masing-masing meskipun tampaknya bertentangan satu sama lain tetapi tidak ada yang layak kita sebut “tidak benar” / “salah”. Konsep ini membuka cakrawala baru agar kita melepaskan belenggu kecenderungan sikap kita yang mengarah ke egosentris, menganggap diri kita yang selalu benar, bahkan ada kalanya kita memaksa agar orang lain juga mempunyai anggapan yang sama dengan anggapan kita.

Relativitasnya Einstein

Ketangguhan teorinya Newton sebagai dasar rekayasa alam rasanya sudah tidak perlu diragukan lagi. Sekarang kita dapat menempatkan satelit komunikasi di ruang angkasa pada posisi dan kecepatan yang tepat, agar gerakannya mengitari bumi selalu sesuai dengan gerak perputaran bumi. Meskipun bumi berputar dan kita di permukaan bumi Indonesia bergerak arah ke timur dengan kecepatan sekitar 40000 km/(24jam), gerakan satelit itu menjamin agar setiap saat ada dalam arah yang tetap. Kita cukup meletakkan parabola penangkap komunikasi pada arah yang tetap sekali saja. Hitungan untuk menemukan posisi dan kecepatan awal satelit sehingga berperan seperti itu memang sedikit rumit, tetapi semuanya bertolak dari teorinya Newton.

Dengan cukup tangguhnyanya teori Newton, itu berarti kalau Einstein menyusun teori yang baru, maka teori tersebut harus menampung teorinya Newton. Lebih tepat barangkali kalau kita menyebutnya sebagai melengkapi atau merentang teorinya Newton.

Ada dua jenis besaran yang selalu kita gunakan dalam upaya mengenali perangai alam ini, yaitu besaran **ruang** dan besaran **waktu**. Besaran ruang diperlukan karena yang kita bahas adalah obyek alam yang punya tempat, dan punya ukuran. Besaran waktu diperlukan karena ada kalanya obyek alam itu pindah lokasinya, ataupun berubah bentuknya.

Hanya saja kedua jenis besaran tersebut **berbeda sifatnya**. Ruang yang kita diami ini dikatakan berdimensi-tiga, karena kita punya tiga arah yang tak bergantung satu sama lain, misalnya arah/dimensi pertama itu timur-barat, arah/dimensi kedua itu utara-selatan, arah/dimensi ketiga itu atas-bawah. Dalam ruang itu kita bebas bergerak dalam arah yang merupakan kombinasi antara ketiga dimensi tadi. Sedangkan besaran waktu hanya punya satu dimensi: “yang sudah berlalu” – “yang akan datang”.

Tetapi ada perbedaan yang mendasar antara besaran ruang dan besaran waktu. Pada besaran ruang, dari tempat kita berada kita boleh pindah ke timur ataupun ke barat, ke utara atau ke selatan, ke atas atau ke bawah. Tetapi untuk dimensi waktu, kita selalu dipaksa untuk pindah ke masa depan, tidak bisa pindah ke masa lalu. (Kecuali dalam ceritera film fantasi “Back to the Future”). Jadi, besaran waktu terasa agak “aneh” karena mengurangi kebebasan kita dalam memilih arahnya, bahkan waktu itu selalu maju terus tidak peduli kita senang atau tidak senang.

Pada suatu ketika ada mahasiswa yang bertanya pada saya: “Pak, kalau menurut bapak waktu itu (sebenarnya) apa sih?”. Ya, saya juga tidak tahu.... tetapi rasanya kita tidak memerlukan besaran waktu jika dalam ruang ini tak ada yang berubah. Maksudnya, kalau memang tidak pernah terjadi perubahan maka konsep waktu itu tidak diperlukan lagi.

Mahasiswa itu makin ingin tahu, dan melanjutkan pertanyaannya: “Lalu...kalau ruang itu (sebenarnya) apa?”. Ya, ..kalau pendapat saya, baik “waktu” maupun “ruang” itu adalah konsep manusia untuk dapat memahami adanya perubahan-perubahan yang terjadi di alam ini. Tentunya, “ruang” punya sifat yang sedikit lain. Meskipun seandainya di alam ini tidak ada perubahan, kita tetap boleh memberi tempat yang berbeda antara benda yang satu dengan benda lainnya, juga indera kita bisa membedakan ukuran masing-masing benda yang bisa berbeda satu sama lain.

Untuk dapat menjelaskan teori relativitasnya Einstein, perlu ada pendalaman sedikit tentang relativitasnya Galileo maupun Newton. Pada contoh tentang dua obyek A dan B yang masing-masing bergerak lurus dengan laju yang tetap dalam ruang itu ada aturan timbal balik yang sifatnya kuantitatif. Kalau A menganggap B yang bergerak mendekati A dengan laju 60 km/jam, dari sudut pandangan B gerak A mendekati B juga dengan laju 60 km/jam (arah berlawanan), selama keduanya menggunakan ukuran jarak ruang, dan ukuran waktu yang sama. Peta semacam itu juga dapat diperluas dengan misalnya obyek C yang juga mendekati A tetapi dengan laju yang lebih cepat, misalnya 1000 km/jam. Bahkan juga bisa ditambah dengan obyek-obyek lain D, E, F ...dsb yang bergerak lurus dalam arah yang sama dengan laju yang berbeda-beda. Untuk masing-masing pasangan, misalnya antara A dengan C sifat timbal balik itu juga berlaku, artinya A menganggap C bergerak mendekati A dengan laju 1000 km/jam, dan C menganggap A bergerak mendekati C dengan laju 1000 km/jam (arah berlawanan) juga. Dalam istilah teknisnya, kumpulan obyek A, B, C, D, E, F, ...dsb. itu dikatakan ada dalam **“acuan-inersial” yang sama**. Masing-masing dari mereka memiliki kedudukan yang setara, dalam arti tidak ada eksperimen / hasil pengukuran yang dapat membedakan mana di antara mereka yang “sebenarnya” tidak bergerak (berhenti). Pernyataan bahwa A tidak bergerak itu “benar”, pernyataan bahwa C tidak bergerak itu juga “benar”, pernyataan bahwa D itu tidak bergerak juga “benar”, ...dst.

Sejarah pemikiran Einstein dipicu oleh penemuan aturan perangai tentang sifat kelistrikan dan kemagnitan obyek alam, yang melahirkan gagasan gelombang elektromagnetik. Obyek itu saat ini sudah kita gunakan dalam komunikasi radio, televisi, telpon genggam, ..dsb. Teori dinamika kelistrikan yang ditemukan untuk itu menunjukkan bahwa kecepatan jalur gelombang elektromagnetik jika diamati oleh siapapun yang berada dalam acuan-inersial yang sama, nilainya selalu sama (sekitar 300 000 km/detik). Konfirmasi tentang benar-benar berlakunya aturan tersebut di alam ini dipelopori oleh eksperimennya Michelson-Morley, dan kemudian diikuti oleh eksperimen-eksperimen lain yang juga ingin menguji kebenarannya. Semua hasil pengukuran menunjuk pada kesimpulan yang sama.

Tetapi aturan semacam itu tidak sejalan dengan apa yang dapat disimpulkan dari teorinya Newton yang fokusnya lebih terkait dengan gerak benda (mekanika). Pada teorinya Newton kecepatan benda selalu dapat ditambah kalau kita mengenakan gaya kepada benda itu dalam arah yang

sama dengan arah geraknya. Artinya, laju gerak benda selalu dapat ditambah besarnya tanpa ada pembatasan nilainya. Coba kita lihat akibatnya pada contoh A, B, dan C. Terhadap A, si C bergerak dengan laju 1000 km/jam sedangkan si B bergerak dengan laju hanya 60 km/jam. Jadi terhadap B si C bergerak dengan laju $(1000-60) = 940$ km/jam dalam arah ke A. Tetapi kalau tidak ada pembatasan tentang nilai kecepatan, tentu saja boleh kita pilih C yang kecepatannya terhadap B adalah 300 000 km/detik (sama dengan kecepatan gelombang elektromagnetik). Akibatnya terhadap A, si C bergerak dengan laju $(300\,000 \text{ km/detik} + 60 \text{ km/jam})$, lebih besar dari kecepatan jalar gelombang elektromagnetik.

Einstein yang haus akan konsistensi logika merasa tidak tepat jika hukum alam tentang mekanika dan aturan elektrodinamika menghasilkan konsekuensi yang berbeda. Pasti salah satu ada yang kurang lengkap. Einstein memilih aturan elektrodinamika yang benar, dan berupaya untuk menyempurnakan teorinya Newton. Sekali lagi harus diperhatikan bahwa teori mekanika yang akan dihasilkan oleh Einstein harus tetap memuat didalamnya teorinya Newton yang sudah tangguh.

Karena kecepatan jalar gelombang elektromagnetik itu sangat besar (kalau geraknya boleh melingkar akan sanggup mengelilingi bumi ini sebanyak tujuh kali dalam satu detiknya) maka penyempurnaan teorinya Newton hanya berlaku pada gerak dengan kecepatan yang sangat tinggi, yang tidak lazim kita jumpai dalam praktek sehari-hari di bumi ini. Jadi, teorinya Newton tetap berlaku selama kita tidak melibatkan gerak dengan kecepatan yang mendekati kecepatan gelombang elektromagnetik. Hasil gagasan Einstein itu di komunikasikan pada tahun 1905 dan dikenal dengan nama Teori Relativitas Khusus. Ada kata “khusus” pada nama itu, karena sebelas tahun kemudian (tahun 1916) ia menerbitkan teori yang lebih umum, yang kemudian dikenal dengan nama Teori Relativitas Umum.

Kita bahas saja Teori Relativitas Khusus yang lebih sederhana. Perangai alam tentang mekanika seperti yang diungkapkan dalam teorinya Newton juga dapat menghasilkan kesimpulan yang tepat sama dengan perangai alam seperti diungkapkan dalam elektrodinamika, asalkan kita bersedia mengubah pola pikir kita tentang “waktu”. Pada mekanikanya Newton “waktu” adalah besaran yang sifatnya absolut, termasuk bagi masing-masing dari mereka yang ada dalam “acuan-inersial” yang sama. Itu mestinya wajar-wajar saja, seperti masing-masing kita menggunakan ukuran yang sama untuk waktu yang namanya satu detik, satu menit, satu jam, dsb.

Pada teorinya Einstein yang menjadi fokus perhatian adalah “peristiwa”, yang mengandung baik konsep ruang maupun konsep waktu. Untuk apa yang kita sebut “peristiwa” itu ada variabel ruang dalam bentuk *dimana* itu terjadi, dan ada variabel waktu yang menunjuk *kapan* itu terjadi. Artinya, kedua variabel itu terkait satu sama lain.

Contoh sederhananya begini, si A dan si B yang ada dalam acuan-inersial yang sama, misalnya si B bergerak lurus beraturan terhadap si A dengan kecepatan 150 000 km/detik. Masing-masing juga menggunakan ukuran waktu yang sama. Ada dua “peristiwa” berbeda waktunya, sebut saja peristiwa-1 dan peristiwa-2, yang masing-masing terjadi di A. Lebih konkret lagi peristiwa-1 adalah ulang tahunnya A yang ke-49, dan peristiwa-2 adalah ulang tahunnya A yang ke-50. Bagi si-A perbedaan waktu antara kedua peristiwa itu adalah satu tahun. Tetapi jika si B yang mengamati dua peristiwa tadi, menggunakan ukuran waktunya sendiri, yang didapatkan adalah selang waktu antara kedua peristiwa itu lebih dari satu tahun. Artinya, si B boleh mencurigai si A bahwa si A ingin membuat kesan bahwa ia lebih muda dari kenyataannya.

Relativitas juga harus bermakna timbal balik. Jadi, seandainya dua peristiwa itu adalah ulang tahunnya B yang ke-52 dan yang ke-53, artinya B merasa benar-benar bertambah usia satu tahun. Tetapi jika kedua peristiwa itu di amati oleh si A, maka pengukuran waktu oleh si A menunjukkan bahwa selang waktunya juga lebih dari satu tahun. Si A berhak mencurigai si B yang ingin membuat kesan lebih muda dari yang sebenarnya. Dalam teori relativitasnya Einstein baik pandangan si A maupun pandangan si B adalah “benar”, sudah selayaknya kedua makhluk itu saling mencurigai. Masing-masing dari mereka memberikan pendapatnya secara jujur berdasarkan hasil pengamatannya.

Tetapi ceritera semacam itu rasanya sukar untuk diterima oleh “logika” kita..., mana mungkin keduanya kita sebut “benar”? Pembuktiannya lewat eksperimen juga tidak mudah dilakukan karena harus melibatkan gerak dengan kecepatan yang sangat tinggi, mendekati kecepatan jalar gelombang elektromagnetik.

Tetapi teori Einstein yang lengkap dituangkan dalam bahasa logika kuantitatif, dan terus dinalar konsekuensi-konsekuensinya lewat inferensi logika yang berrantai panjang. Berikut ini beberapa konsekuensi dari teorinya :

- ##Besaran waktu dan ruang tidak dapat digarap sebagai variabel yang bebas satu sama lain, keduanya saling terkait.
- #Benda-benda yang punya massa (“berat”) tidak dapat bergerak

dengan kecepatan yang melebihi kecepatan jalar gelombang elektromagnetik.

• # Kalau c adalah lambang untuk kecepatan jalar gelombang elektromagnetik dan m adalah massa (“berat”) sebuah benda maka pada benda tersebut terkandung energi yang besarnya $E = m \cdot c^2$.

Keyakinan masyarakat akan kebenaran teori relativitasnya Einstein itu barangkali baru mapan sejak perwujudan konsekuensi tentang ekivalensi antara massa benda dan energi, ketika tahun 1945 dua bom atom dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki mengakhiri Perang Dunia Kedua dengan korban ratusan ribu manusia tak berdosa. Artinya, ada selang waktu yang cukup panjang (40 tahun) sebelum teori relativitasnya Einstein disadari kebenarannya oleh masyarakat luas.

Einstein, yang dikenal sebagai penerima Hadiah Nobel, tidak mendapatkan penghargaan itu atas Teori Relativitasnya melainkan atas karyanya dalam menjelaskan gejala Fotolistrik. Bertahun-tahun lamanya ia sering diundang untuk menjelaskan teori relativitasnya, tetapi kebanyakan pendengar ceramahnya tidak begitu saja dapat menerima azas relativitasnya yang terasa “aneh” itu.

Saat kuliah kosmologi itu juga saya putarkan film buatan BBC yang mengungkap sejarah proyek pembuatan bom atom menjelang berakhirnya Perang Dunia Kedua. Ada skenario salah satu ceramahnya Einstein, dimana dia tetap gigih mempertahankan teori relativitasnya, tetapi juga mengemukakan bahwa ekivalensi energi dengan massa benda seperti dirumuskan sebagai salah satu konsekuensi teori relativitasnya itu akan sukar untuk diwujudkan secara nyata. Adalah ilmuwan-ilmuwan lain yang kemudian memberitahukan bahwa rumus tersebut benar-benar dapat diwujudkan untuk membuat bom dengan daya perusak yang tak ada bandingannya ketika itu. Einstein pun dibujuk untuk menulis surat pemberitahuan kepada presiden Amerika Serikat (Roosevelt) tentang kemungkinan pembuatan bom semacam itu.

Konsep **relativitas** hasil studi manusia tentang realita alam ini secara perlahan-lahan menyadarkan kita betapa sempitnya cakrawala pandangan kita tentang alam dan betapa miskinnya perbendaharaan kata yang kita miliki sebagai alat komunikasi selama ini.